

КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра геологии нефти и газа имени академика А.А.Трофимука

НУРГАЛИЕВА Н.Г., УСПЕНСКИЙ Б.В., КАЛЬЧЕВА А.В.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
К ИЗУЧЕНИЮ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ РАЗРЕЗОВ
ПО ДАННЫМ КЕРНА И КАРОТАЖА**

Методическое руководство
к выполнению специализированных выпускных работ
бакалавров и магистров направлений 05.03.01, 05.04.01 Геология.
«Геология и геохимия горючих ископаемых» и
21.03.01 «Нефтегазовое дело»

Казань – 2016

Принято на заседании кафедры геологии нефти и газа имени академика

А.А.Трофимука

Протокол № 2/16 от 17 февраля 2016 г.

Рецензент:

кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой общей геологии и гидрогеологии, доцент **Э.А.Королев**

Нургалиева Н.Г., Успенский Б.В., Кальчева А.В.

Методические рекомендации к изучению нефтегазоносных разрезов по данным керна и каротажа: Методическое руководство к выполнению специализированных выпускных работ бакалавров и магистров направлений 05.03.01, 05.04.01 Геология. «Геология и геохимия горючих ископаемых» и 21.03.01 «Нефтегазовое дело» / Н.Г.Нургалиева, Б.В.Успенский, А.В.Кальчева. – Казань: Казанский университет, 2016. – 20 с.

Методическое руководство составлено для студентов специальностей «Геология и геохимия горючих ископаемых» и «Нефтегазовое дело», содержит рекомендации к исследованию нефтегазоносных разрезов по данным керна и каротажа, которые можно применить при освоении дисциплин, специализирующихся на изучении природных резервуаров углеводородов, а также при выполнении профильных выпускных работ.

©Нургалиева Н.Г., Успенский Б.В., Кальчева А.В., 2016

© Казанский университет, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Методика организации образовательного и исследовательского процесса при выполнении вы- пускных работ	5
Методика рассмотрения строения нефтегазоносного разреза	13
Список рекомендуемой литературы	19

ВВЕДЕНИЕ

Современное образование ориентируется сегодня на две ярко выраженные и стремительно развивающиеся тенденции в науке и практике. С одной стороны – это мультидисциплинарность, требующая от участников образовательного процесса знаний в различных предметных областях и умения найти между этими областями эффективные контакты. С другой стороны – это «сужение» специализаций из-за разветвления, углубления, меандрирования «русел», по которым стремительно движутся мощные потоки информации. Умение находить компромисс между этими тенденциями – сегодня одна из актуальных задач образовательной деятельности педагогов и студентов.

Подготовка специалистов по геологии нефти и газа обусловлена высокими требованиями, предъявляемыми к выпускникам со стороны геолого-разведочных организаций (от малых компаний до крупных корпораций), не говоря о научных сообществах. В число этих требований входят умение ставить и решать задачи, умение расставлять приоритеты при решении этих задач, умение быстро адаптироваться к меняющимся условиям технико-технологического оснащения и социальной коммуникации. Так или иначе, все эти умения можно свести к одному основополагающему – умению быстро учиться новому.

Таким образом, с одной стороны, задача преподавателя состоит в том, чтобы дать оптимальные знания и технологии использования этих знаний, а с другой стороны – подобрать условия обучения для стимулирования выработки умения быстро учиться новому.

К таким условиям образовательного процесса относится применение комплексного лабораторного исследования керна горных пород при изучении специальных дисциплин, рассматривающих природные резервуары углеводородов, а также при выполнении профильных выпускных работ. Сегодня для решения задач поисково-разведочных работ и разработки залежей и месторождений геологи-нефтяники, в основном, получают данные в «удаленном доступе» и расшифровывают различные «записи» геологического пространства (ка-

ротажные кривые, сейсморазрезы, структурные карты, карты изопахит, карты разработки и т.д.). Однако, для успешного решения геолого-разведочных и смежных задач современному геологу необходимо «чувствовать» вещество геологической среды не только дистанционно, но и прикасаясь к нему непосредственно; культивировать в себе стремление к пониманию процессов, приводящих к формированию свойств минералов, органического вещества, флюидов и других вещественных компонентов горных пород, их структурированию в микро- и макромасштабах. Воспитание подобного качества у обучающихся направлено на выработку умения «быстро» проникать в поставленную задачу, в суть физического или химического метода исследования, в освоение, как минимум, пользовательского уровня владения измерительным оборудованием. На следующем этапе развиваются навыки обработки полученных данных и интерпретации их в рамках поставленной задачи.

Все эти умения закладываются, в первую очередь, при освоении курсов «Кристаллография», «Минералогия», «Петрография», «Литология», «Нефтегазовая литология», «Геология и геохимия нефти и газа» и прохождении профильной учебной практики по исследованию керна, но эффективно могут развиваться только при выполнении специализированных выпускных и научно-исследовательских работ выполняемых студентами на основе кернового материала, собираемого ими во время учебной, производственной практик или на коллекциях керна, хранящихся на кафедрах.

МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ВЫПУСКНЫХ РАБОТ

Организация образовательного и исследовательского процесса при выполнении выпускных работ, связанных с изучением кернового (и не только) материала, становится эффективной, если в основе своей подчинить ее логике и

правилам написания научной статьи согласно мировым стандартам по следующей схеме:

1. Обзор истории изученности вопросов в рамках выбранной тематики.
2. Постановка задачи, ее актуальность на основе общего освещения выбранной проблематики (краткого обзора).
3. Обоснование, выбор и характеристика объекта исследований.
4. Обоснование и выбор методов исследований.
5. Результаты исследований и их интерпретация.
6. Выводы и рекомендации.

Рассмотрим, например, возможный ход выполнения дипломной работы на примере изучения резервуарных свойств пластов АС11/1 и АС12/1 одного из месторождений Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции по данным исследования керна скважины.

Геолога-нефтяника, в первую очередь, интересуют вопросы коллекторских свойств пласта и свойств движущихся по нему флюидов (нефти, газа, воды). Эти вопросы можно рассмотреть в свете разных аспектов. К приоритетным - относится аспект условий формирования пород в процессе литогенеза, влияющих на образование порового пространства, миграцию и аккумуляцию в нем флюидов, фильтрацию в межскважинном и внутрискважинном пространстве при разработке продуктивных пластов. В общем, аспект сформулирован, но ограничивается спецификой получения геологической информации (сложные физико-географические условия освоения территории, скважины бурить дорого и вынос керна неполный, много или мало образцов отобрано, каждый образец по-разному неоднороден и т.п.). Так или иначе, такие условия задают путь конкретизации аспекта и формирование «маршрута» - группы задач, позволяющих в той или иной степени достигнуть искомого видения и понимания исследуемого объекта.

Обзор материала по геологии и разработке указанных двух пластов показал, что их эксплуатационные возможности ~~н~~ различаются и изменяются в некоторых участках только после применения технологии гидроразрыва пласта.

Пласты обеспечены керновым материалом из скважин опытно-промышленных участков.

Таким образом, определяется «маршрут» работы: для выяснения причин отличия добывных возможностей двух пластов необходимо проанализировать условия их залегания и образования, изучить вещественный состав пород, их структурно-текстурные особенности и фильтрационно-емкостные свойства.

При характеристике объекта исследования эффективным путем является построение модели, выраженной в схемах геологической корреляции, геологических профилях, картах геологических свойств. Модель, например, демонстрирует частое переслаивание пород-коллекторов и непроницаемых пород. Отсутствие при многочисленных испытаниях в продуктивной части разреза пластовой воды показывает, что залежь нефти представляет собой замкнутое линзовидное тело, полностью заполненное нефтью, а контуры залежи данного пласта определяются границами его распространения. Залежь литологически ограниченная (по классификации И.О. Брода, Н.А.Еременко) в зонах повышенной пористости, окруженных практически непроницаемыми породами.

Построение модели – необходимое начальное звено «маршрута» исследований и, очевидно, оно целесообразно на долабораторном этапе сбора и обобщения геолого-геофизических и геолого-промысловых данных. Построенная модель позволяет определить в ней значимость керновых скважин и задать уровни отбора образцов в каждой скважине.

Шаг отбора образцов из керна определяется характером неоднородности разреза. В идеальном случае этот шаг диктуется числом литотипов в разрезе, положением в нем нефтяной, водонефтяной и водяной зон, толщиной пород-коллекторов и экранирующих прослоев и покрышки. На рис.1 показан пример керна (распиленного и отполированного) и места отбора (отверстия) цилиндрических образцов из него (фотографии керна в дневном свете (слева) и в ультрафиолетовом свете (справа)). В ультрафиолетовом свете фиксируются нефтенасыщенные зоны. Отверстия соответствуют взятым на лабораторные исследования образцам песчаников, алевролитов и аргиллитов.

Сформированная коллекция образцов может быть описана путем составления таблицы по форме (таблица 1).

На основе полученной таблицы обобщается структура и текстура пород с выделением характерных литотипов в разрезе и устанавливаются виды лабораторных анализов для достижения определенных образовательных целей:

- учебно-образовательная цель (знакомство с современными, в том числе, прецизионными методами исследований, вычленение информативности методов для решения геологических задач);
- научная цель (отбор информации и ее адаптация для оптимизации построенной геологической модели, объяснение процессов формирования коллекторских и экранирующих свойств, а также процессов фильтрации флюидов при добыче нефти);
- практическая цель (рекомендация выбранных на основе проведенных исследований геологических участков (блоков) для обоснования тех или иных технологических решений, например применения технологии гидроразрыва пласта).

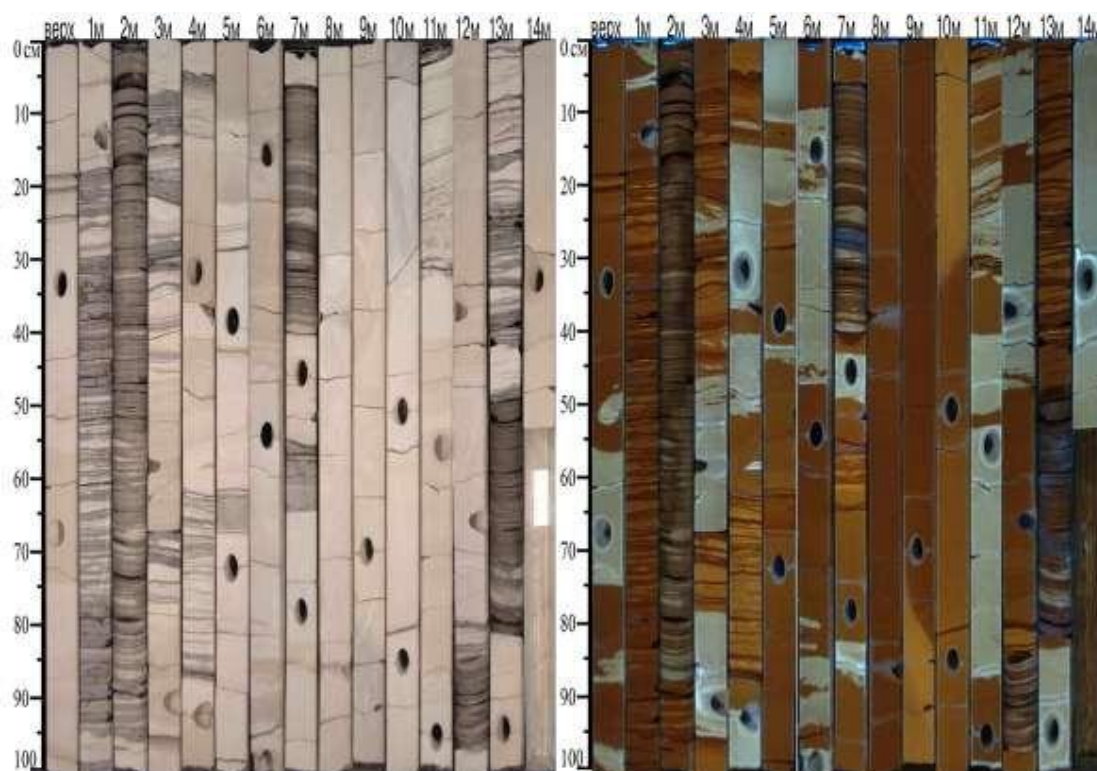


Рис. 1. Фотографии керна, пласт AC12/1

Достижение первой цели, в основном, обуславливается наличием имеющегося в учебном заведении оборудования и ресурсами по его использованию. В данном случае был задан следующий ряд методов: микроскопия (оптическая и электронная), магнитно-резонансная спектроскопия, рентгенофазовый анализ, комплекс петрофизических анализов.

Таблица 1.

Форма таблицы: описание образцов (с примером)

№ образца	Литологическое описание	Фотография керна	Фотография шлифа (длина поля шлифа составляет 3,5 мм)
8	Песчаник серый, плотный, крепкий, мелкозернистый, аркозовый, известковистый, с намывами углесто-глинистого материала и слюды; тонкогоризонтально слоистостый		

Достижение второй цели выражается, например, в рассматриваемом конкретном случае, в типизации пор по данным электронной микроскопии (рис.2 - здесь показаны типы пор по размерам и они самые распространенные: а – пора первого типа; б – поры второго типа), выяснении распределения кальцитового цемента и органического вещества по данным электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) (рис.3 - на спектрах ЭПР красным цветом показаны линии спектров, отражающие наличие в различной степени упорядоченного кальцита в составе цемента пород; черным – наличие органического радикала от углесто-детрита; отмечается закономерная смена одного типа сигнала другим, обусловленная изменением условий осадконакопления), уточнении минерального состава пород на рентгенодифрактограммах (рис.4 - отражения: 1-8 – кварц; 9-10 – кальцит; 11-24 – альбит; 25-28 – хлорит; 29-31 – мусковит), получении данных по коллекторским свойствам пород.

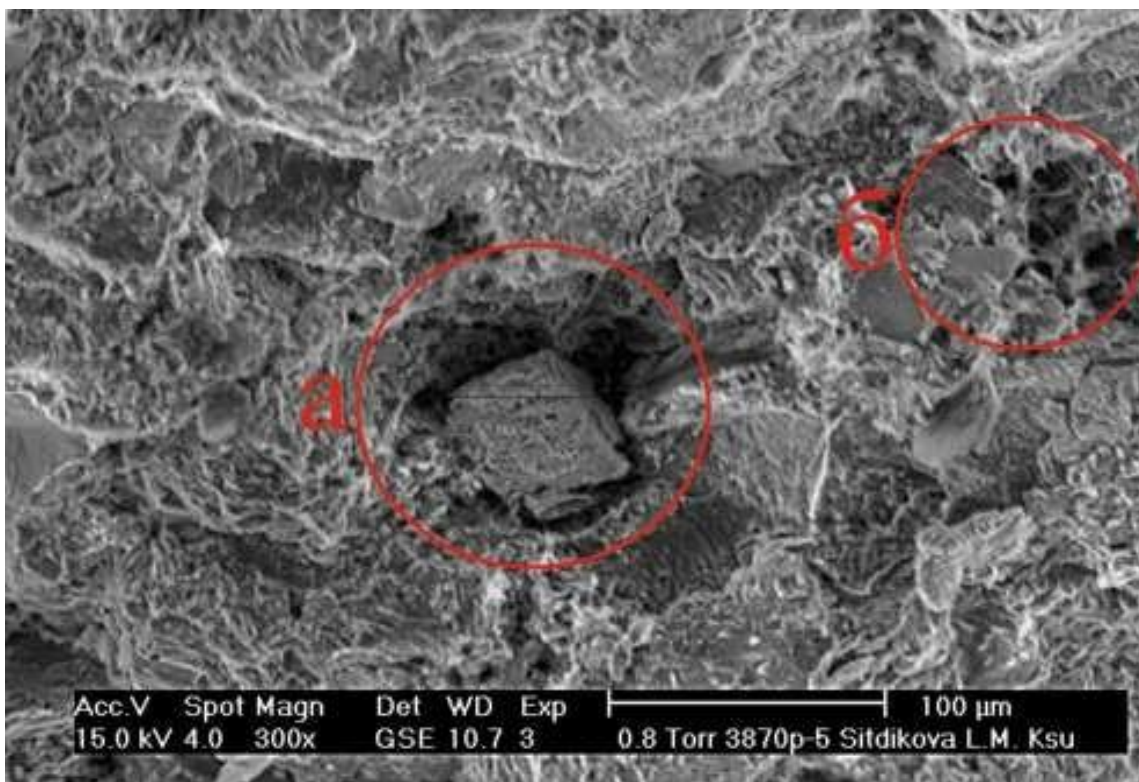


Рис. 2. Пример отбора информации по электронной микроскопии

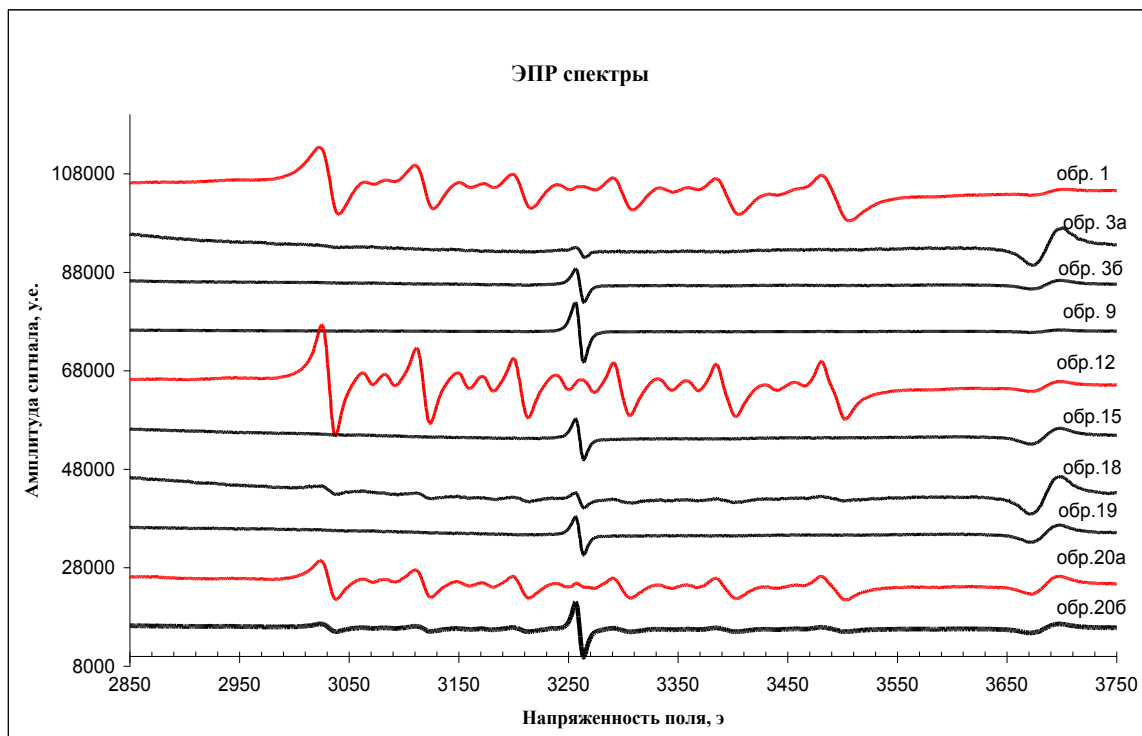


Рис. 3. Спектры ЭПР

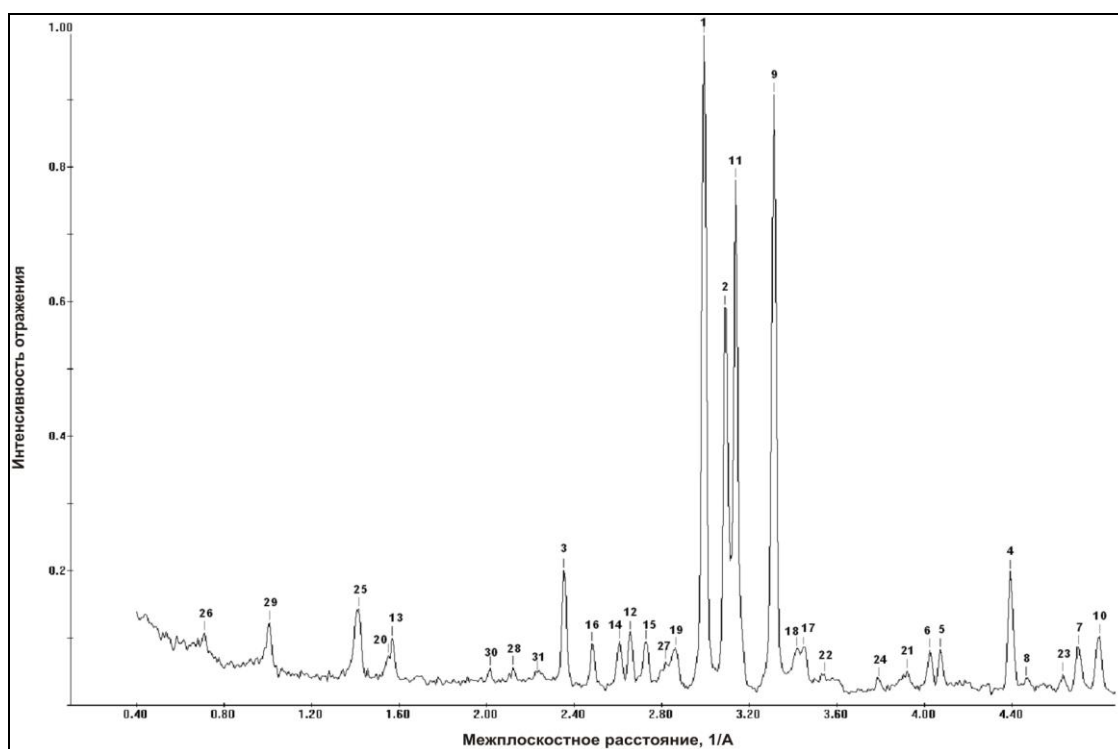


Рис. 4. Дифрактограмма песчаника

Анализ полученных данных позволяет установить классификационное место пород-коллекторов, например, по классификации А.А.Ханина, и обосновать применимость технологии разработки пласта, например, гидроразрыва пласта в комплексе с кислотным воздействием.

Таким образом, «маршрут» исследования разворачивается в сторону задачи третьей (практической) образовательной целевой группы, а именно, в конкретном случае, рассмотрения зависимостей вида пористость-карбонатность, пористость-проницаемость для моделирования воздействия кислотного реагента на выбранный участок пласта, и перспективности его дальнейшего использования для улучшения фильтрационных свойств пласта и повышения его эксплуатационных возможностей, а также возможности переноса выбранной модели на другие участки со сходными коллекторскими свойствами. Например, на рис.5 показано изменение проницаемости образца после введения кислотного реагента. Из рисунка видно, что ввод реагента привел к увеличению проницаемости от 0.163 до 0.236 мД – почти на 45%. При этом размер поровых каналов увеличился от 0.093 до 0.105 мкм.

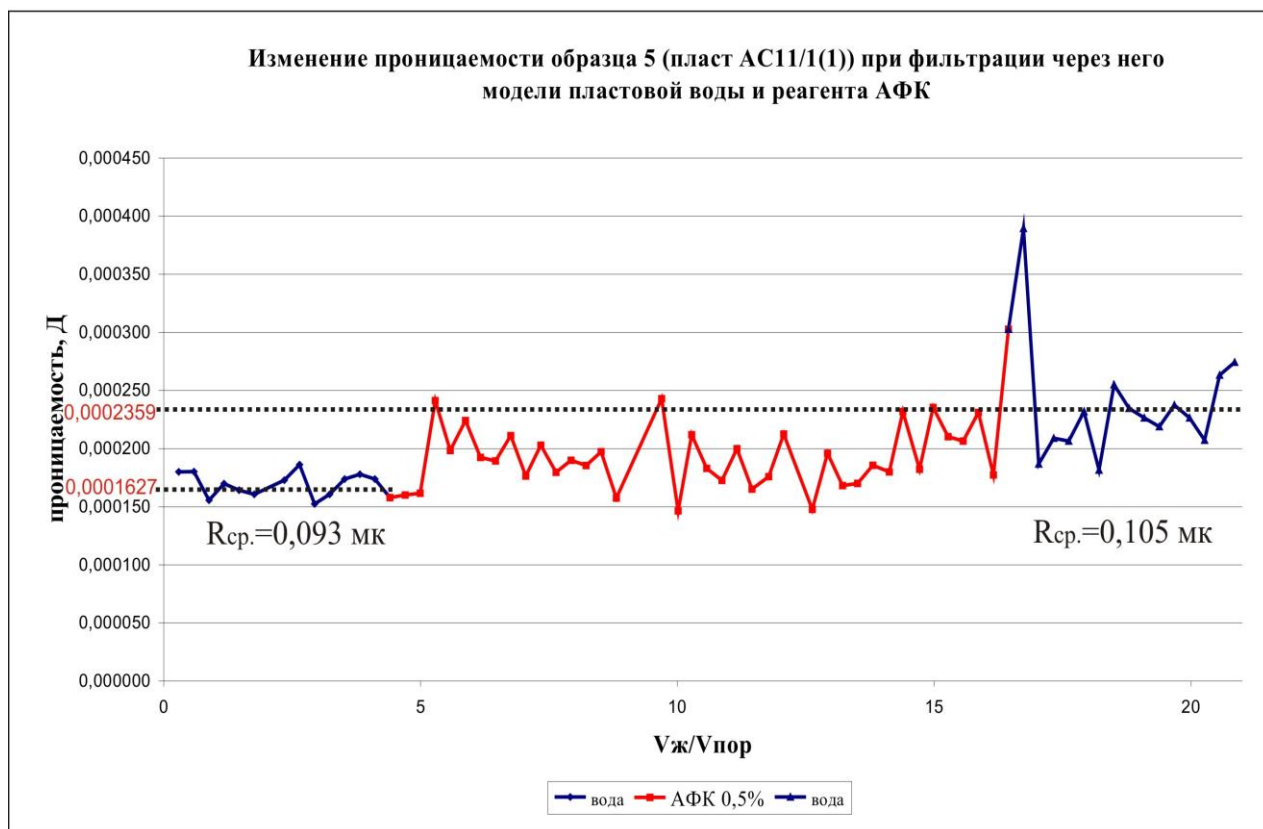


Рис. 5. Пример изменения проницаемости образца при кислотном воздействии

Активное включение лабораторных исследований керна разнообразными физическими и химическими методами в образовательный процесс имеет важное научно-педагогическое значение при подготовке геологов-нефтяников, так как позволяет через «работу руками», через подробное рассмотрение вещества геологического объекта воспитывать в обучающихся умение «быстро» учиться новому, умение «отделять зерна от плевел», умение ставить и решать серьезные теоретические и практические задачи.

«Маршрутная» методика организации образовательного и исследовательского процесса с использованием керновых объектов выступает как эффективный способ выполнения образовательных задач, в частности, выпускных работ по геологии нефти и газа.

МЕТОДИКА РАССМОТРЕНИЯ СТРОЕНИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РАЗРЕЗА

Расчленение и корреляция осадочных разрезов лежат в основе геологических реконструкций, в том числе, и с минерагеническими целями. Расчленение и корреляция упираются в понятие «граница».

Легче всего распознаются литологические границы, которые в зависимости от данных насыщаются другими, кроме литологического, «граничными» смыслами (стратиграфическим, тектоническим, технологическим).

В геологии углеводородных скоплений интересны природные резервуары, ловушки углеводородов (УВ), залежи (месторождения) УВ. То есть, интересны **границы** между частями осадочного разреза, содержащими УВ и воду (породами-коллекторами) и перекрывающей их покрывкой (породами-неколлекторами). Эти границы всегда будут иметь литологический смысл.

Если скопление УВ небольшое или региональный нефтегазоносный комплекс имеет «слоистое» строение и выдержан по простиранию, тогда литологическое расчленение и литологическая корреляция эффективны и корректны.

Если накладываются другие условия (фациальная невыдержанность, сложность структурно-тектонического строения), тогда только литологического расчленения и литологической корреляции недостаточно.

В настоящем руководстве рассмотрен вопрос литологического расчленения отдельных скважинных нефтегазоносных разрезов, эффективность которого зависит от группы условий, оговоренных выше.

Чтобы найти в осадочном разрезе собственно литологические и технологические границы, необходимы данные наблюдений и измерений литологических свойств разреза.

В скважинах это достигается с помощью методов скважинной геофизики и керновых исследований.

Первый этап методики заключается в выделении границ на основе данных геофизических исследований скважин (ГИС). На рис.6 показан пример по-

добного выделения. Намечаются литологические и технологические границы (розовые горизонтальные линии) в пределах верейских отложений среднекаменноугольных отложений на одном из нефтяных месторождений Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна.

На втором этапе вначале необходимо произвести описание кернового материала, позволяющее реализовать литологическое и технологическое расчленение на большее количество элементов.

Ниже приводится пример описания керна верейских отложений на рассматриваемом этапе, а на рис.7 показано фото фрагмента описанного керна в интервале 815,00-818,00 м верейского горизонта.

Вскрытая часть верейского яруса сложена:

В кровле кернового интервала (815,00-816,64 м) глиной зеленовато-серой, мягкой, жирной.

Ниже (816,64-817,23 м) залегает слой известняка светло-серого до белого, плотного, крепкого, без признаков УВ.

В интервале 817,23-818,80 м наблюдается известняк светло-серый, разуплотненный, с обломками фауны, неравномерно нефтенасыщенный.

Интервал 818,80-819,93 м сложен известняком серым, плотным крепким с глинистыми включениями с пятнами нефтенасыщения в подошве (0,3 м).

Интервал 819,93-821,33 представлен известняком серым и коричневым, средней крепости и рыхлым, с обломками фауны, интенсивно нефтенасыщенным.

Интервал 821,33-822,58 м сложен известняком светло-серым, плотным, крепким, участками глинистым, пятнисто нефтенасыщенным в кровле.

Интервал 822,58-824,15 м представлен глиной темно-серой, мягкой, жирной, участками сланцеватой и сильно пиритизированной.

Интервал 824,15-825,00 м – это переслаивание известняка глинистого зеленовато-серого и глины коричневатой-серой с включениями обломков фауны.

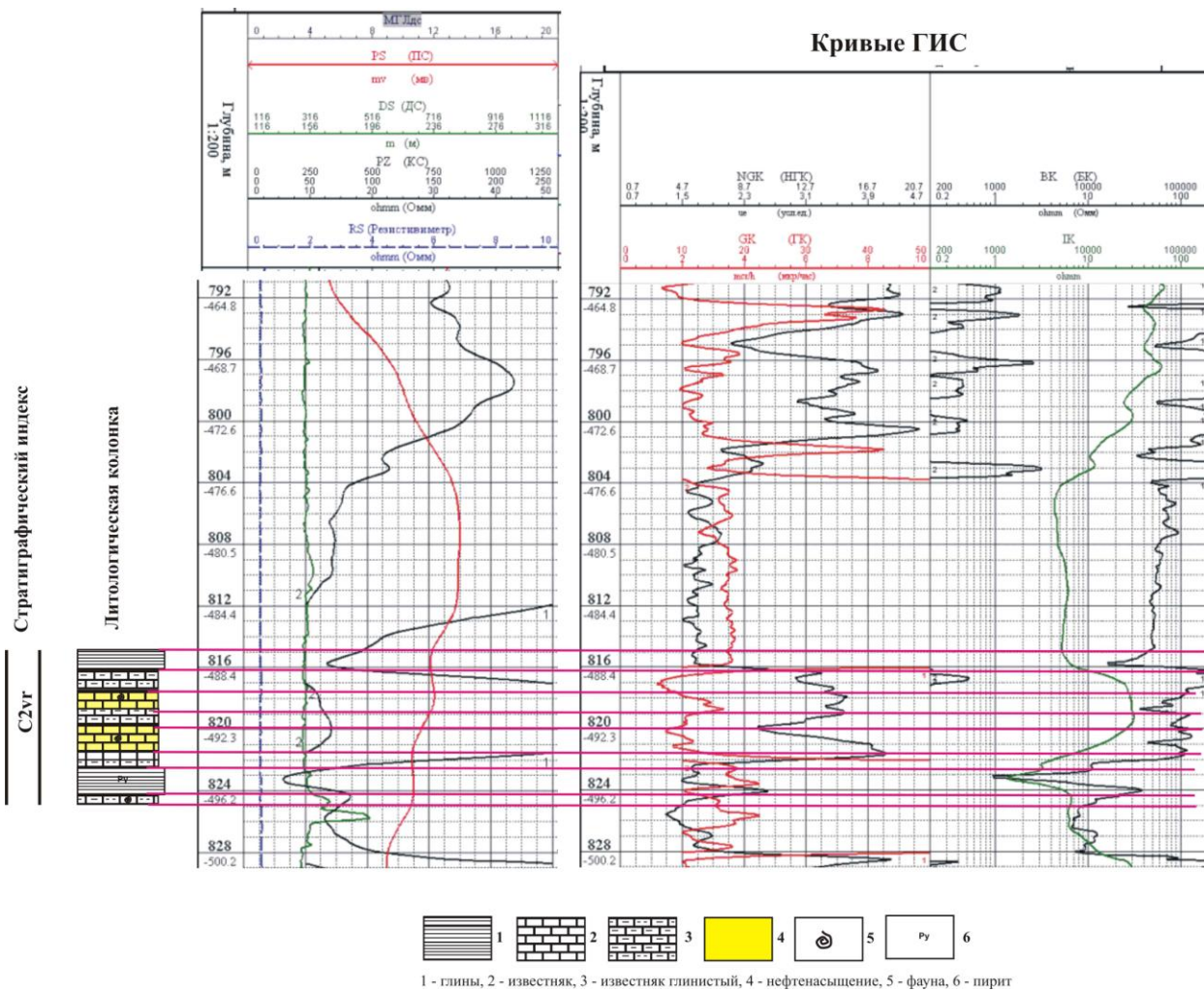


Рис. 6. Первый этап методики расчленения. Анализ данных ГИС



Рис. 7. Фото фрагмента описанного керна

Следующей стадией второго этапа является отбор образцов на основные лабораторные исследования, которые проводятся с учетом последовательности литотипов, их неоднородности и толщины, что достигается путем выбора статистически проверенного интервала отбора керна. На практике используется инструкция ГКЗ (Государственная комиссия по запасам), в которой рекомендовано производить отбор образцов керна на исследования коллекторских свойств пород с интервалом 0,2 м при 100% выносе керна из нефтенасыщенных интервалов и через 0,5 м из интервалов-неколлекторов.

Целями данной стадии являются 1) более достоверное установление литотипов и литологических свойств, влияющих на фильтрационно-емкостные свойства пород путем изучения выборочных образцов в шлифах под поляризационным микроскопом, исследования методом рентгенодифрактометрии для выяснения минерального состава пород, а также определение соотношения различных химических составляющих (например, для карбонатного разреза - соотношение карбонатов кальция и магния, а также содержания нерастворимого остатка); 2) измерение фильтрационно-емкостных свойств всех отобранных на исследования образцов (пористости, проницаемости, нефтенасыщенности и других параметров).

Результатом данной стадии является детализация состава литологических и технологических элементов.

Например, в рассматриваемом случае результат может быть выражен в следующих выводах по данным изучения коллекции образцов №№ 1-47:

- ✓ По данным дифрактометрии образца № 10, представляющего плотный известняк в интервале 816,64-817,23 м, в составе породы, кроме кальцита, отмечается наличие доломита, гипса, мусковита и кварца.

- ✓ Образцы №№ 14, 16, 18, 20, 27, 29, 30, 32 отобраны из разуплотненных интервалов 817,23-818,80 м (обр. 14, 16, 18, 20) и 819,93-821,33 м (обр. 27, 29, 30) и представляют по описанию шлифов известняк органогенно-детритовый с алевроито-псаммитовой структурой, сложенный в большей или меньшей степени гранулированными и перекристаллизованными раковинами фораминифер,

обломками мшанок, члениками криноидей и остатками водорослей. По классификации Данхема это грейнстоуны. Органогенные обломки скреплены микритом, слагающим цемент порового типа. Поры неправильной формы с размерами 0,01-0,20 мм (преобладают размеры 0,05-0,10 мм) внутриформенные и межформенные, в большинстве – это поры растворения. Наблюдаются неправильные включения остаточной нефти. Отмечается некоторое развитие вторичной кальцитизации.

✓ По данным дифрактометрии для рассматриваемых разуплотненных интервалов помимо кальцита отмечается содержание доломита, кварца, мусковита (обр. 16, 30), хлорита (обр.30). По данным химического анализа образцы №№10, 16, 30 представляют собственно известняки. Данные по образцу № 22 указывают на известняк глинистый.

✓ Образец № 47 характеризуется значительным содержанием терригенной примеси, которая по данным дифрактометрии представлена зернами кварца, альбита, микроклина, хлорита, мусковита. Также отмечается присутствие пирита. Данные химического анализа образца № 47, в котором карбонатность составляет менее 50%, а также описание шлифа, позволили установить, что анализируемая проба была представлена известковым алевритистым песчаником.

Третьей стадией второго этапа является статистическая оценка полученных данных путем составления таблицы элементарных статистик (минимальное и максимальное значения, среднее, стандартное отклонение, число определений) и петрофизических зависимостей. На рис.8 показан пример петрофизических зависимостей для верхнего разуплотненного пласта 817,23-818,80 м с установлением кондиционного предела открытой пористости 4,7%.

Заключительный третий этап состоит в получении обобщенной модели расчленения нефтегазоносного разреза (рис.9), включающей литологическую колонку, кривые вариаций фильтрационно-емкостных и других свойств, а также зональность природного резервуара.

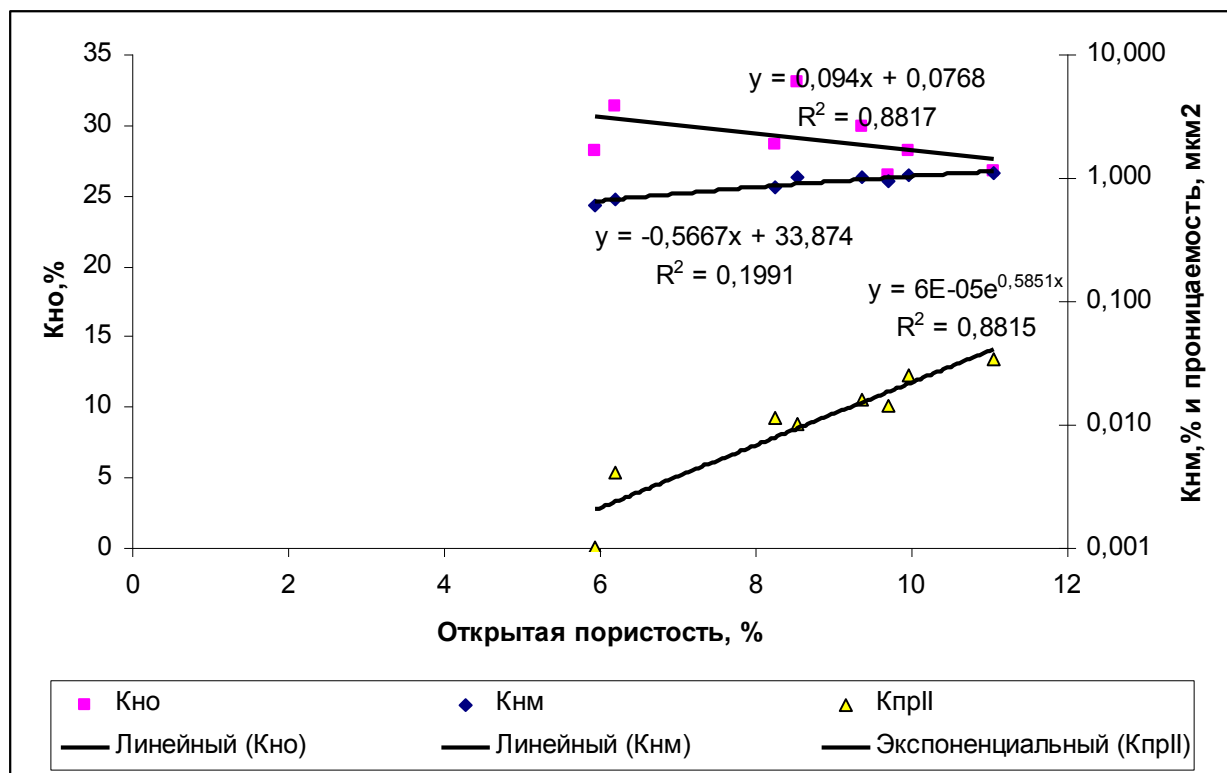


Рис. 8. Пример петрофизических зависимостей

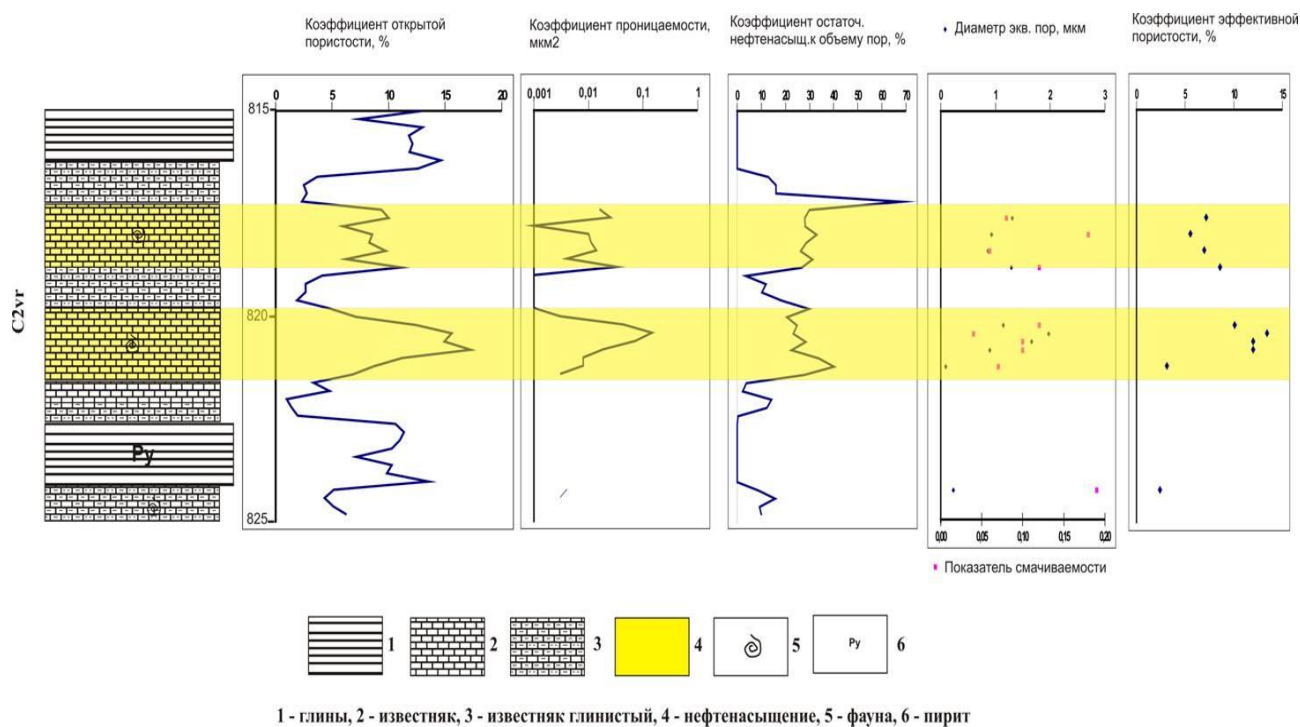


Рис. 9. Модель расчленения нефтегазоносного разреза верейских отложений (интервалы нефтенасыщения по керну соответствуют интервалам нефтенасыщения по каротажу (см. рис. 6))

В обобщенном виде методика рассмотрения строения нефтегазоносного разреза складывается из следующих этапов:

1. Анализ данных ГИС с установлением предварительных литологических и технологических границ.

2. Анализ керна с описанием керна, позволяющим уточнить литологические и технологические границы; с отбором и лабораторными исследованиями образцов для детализации состава литологических и технологических элементов; со статистическим анализом для получения элементарных статистик параметров основных свойств, петрофизических зависимостей и кондиционных пределов.

3. Получение модели расчленения разреза, на которой представлены литологическая колонка, кривые вариаций фильтрационно-емкостных и других свойств, зональность природного резервуара углеводородов.

Дальнейшие перспективы развития учебно-методических и научно-методических вопросов изучения нефтегазоносных разрезов связаны как с их расчленением, так и с сопоставлением отдельных нефтегазоносных разрезов в пределах связывающей их структуры или секвенса на основе литолого-фациальных и геолого-технологических критериев.

Список рекомендуемой литературы

Бурлин Ю.К., Конюхов А.И., Карнюшина Е.Е. Литология нефтегазоносных толщ. – М.: Недра, 1991.- 286 с.

Котяхов Ф.И. Физика нефтяных и газовых коллекторов.– М.: Недра, 1977. – 287 с.

Недоливко Н.М. Исследование керна нефтегазовых скважин: учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2006. - 170 с.

Нургалиева Н. Г. Методика расчленения нефтегазоносного разреза // Концепт. – 2014. – Современные научные исследования. Выпуск 2. URL: <http://e-koncept.ru/2014/54539.htm>

Нургалиева Н.Г. Значение керновых исследований в образовательном процессе // Концепт. – 2013. - Современные научные исследования. Выпуск 1. URL: <http://e-koncept.ru/article/486/>

Нургалиева Н.Г. Методологические основы формационного анализа. – Казань: Изд-во КГУ, 2009. – 132 с.

Прошляков В.К., Кузнецов В.Г. Литология и литолого-фациальный анализ. М.: Недра, 1987. - 287 с.

Успенский Б.В., Бадамшин Э.З., Ильина Г.А., Лебедев Н.П. Геолого-геохимические основы освоения битумных месторождений Среднего Поволжья /Изд-во Казанского ун-та, 1988. – 146 с.